بررسی تأثیر امواج فراصوت و باکتری‌های محرک رشد بر جوانه‌زنی و رشد گندم (*Triticum aestivum* L.)

علی انصوری[1]، حسن شهقلی، منوچهر قلی‌پور و علیرضا فلاح

دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود؛ aliansori98@yahoo.com

دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی دانشگاه صنعتی شاهرود؛ h_agroo2000@yahoo.com

دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود؛ manouchehr.gholipoor@gmail.com

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ rezafayah@yahoo.com

دریافت: 91/11/23 و پذیرش: 92/10/24

چکیده

امواج فراصوت به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربردهای جدیدی در علوم کشاورزی پیدا کرده است. به همین منظور آزمایشی گلدانی برای بررسی تأثیر امواج فراصوت و باکتری های محرک رشد بر جوانه زنی و رشد گندم در سال 1390 در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در 4 تکرار به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل صوت دهی بذور در پنج سطح صفر (شاهد)، 2، 4، 6 و 8 دقیقه و تلقیح باکتری در سه سطح، عدم تلقیح (شاهد)، تلقیح با سویه ازتوباکتر کروکوکوم و سویه سودوموناس فلورسنس بودند. نتایج این بررسی نشان داد، امواج فراصوت تأثیر معنی داری (P<0.01) بر حداکثر جوانه زنی (Gmax)، یکنواختی جوانه زنی (GU)، سرعت جوانه زنی (R50)، زمان تا 10 درصد جوانه زنی (D10)، 50 زمان تا 50 درصد جوانه زنی (D50)، 90 زمان تا 90 درصد جوانه زنی (D90) و زمان تا 95 درصد جوانه زنی (D95) داشته و باکتری های محرک رشد بر Gmax، R50، D10 و D50 تأثیر معنی دار داشتند. همچنین اعمال فراصوت و باکتری های محرک رشد سبب افزایش Gmax، R50 و کاهش D10، D50، D90 و D95 شد. اثر متقابل امواج فراصوت و باکتری های محرک رشد تأثیر معنی داری بر حداکثر و سرعت جوانه زنی گیاه گندم داشت. همچنین امواج فراصوت موجب افزایش معنی دار زیست توده و وزن ریشه و باکتری‌های محرک سبب افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شدند. اثر متقابل امواج فراصوت و باکتری محرک رشد تأثیر معنی داری بر زیست توده گیاه گندم داشت. مشاهده شد با افزایش مدت زمان امواج فراصوت در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح باکتری زیست توده افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، باکتری‌های محرک رشد، گندم، جوانه‌زنی

مقدمه

افزایش تقاضای روز افزون مصرف کنندگان برای استفاده از محصولات با کیفیت، منجربه استفاده از تکنولوژی‌های جدید و بدون عوارض مانند فراصوت[2] شده است. فراصوت به کیفیت محصولات غذایی (ارزش غذایی و ترکیبات شیمیایی) آسیبی نمی‌رساند. امواج فرا صوت یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاهان می‌باشد،. امواج فراصوت کاربردهای فراوانی در کشاورزی دارد، و از جمله این کاربردها می توان به تیمار دهی بذور گیاهان برای کاهش فاصله رشدی، کاهش و حذف آفات و بیماری‌ها و استفاده از آن

[1] نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه صنعتی شاهرود- دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

[2] Ultrasound

در مهندسی ژنتیک و انتقال ژن اشاره کرد. افزایش تقاضای روز افزون جمعیت برای استفاده از محصولات با کیفیت منجربه استفاده از تکنولوژی‌های جدید شده است. فناوری استفاده از امواج فراصوت یکی از روش‌های جدید استفاده شده در کشاورزی به خصوص در ارزیابی کیفیت و عملکرد محصولات زراعی است. این امواج در صنایع غذایی از سال 1970 مورد استفاده قرار گرفته است (پووی و ویلکینسون 1980). مکانیسم اثر امواج فراصوت با فرکانس پایین به طور کلی به دلیل ایجاد پدیده حفرگی[3] یا تشکیل حباب های بسیار ریزی است که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه‌ای و نقطه ای حرارت و فشار فوق العاده زیاد در محیط مایع ایجاد می‌شود. این وضعیت باعث اثرات فیزیکی شیمیایی بر ملکول‌های مجاور می‌شود (ماسون و همکاران، 1996؛ ماسون و لوریمر، 2002؛ ماسون، 2002). همچنین امواج فراصوت، گرادیان فشار را در سطح گاز - مایع تحت تأثیر قرار می‌دهد(کیستی، 2002). دو پارامتر مهمی که در رابطه با امواج فراصوتی بوده و برای اندازه‌گیری خواص محصولات کشاورزی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد، سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف آن است. سرعت امواج فراصوت (V) از طریق اندازه‌گیری زمان مورد نیاز (T) برای عبور امواج فراصوت از ضخامت مشخص مواد (L) مطابق رابطه 1 تعیین می‌گردد (ذکی دیزجی و همکاران، 1387):

(1)

$$v = \frac{L}{T}$$

پژوهش هایی درباره استخراج آنتوسیانین از میوه‌ها و بررسی پایداری آن در شرایط مختلف بوسیله امواج فراصوت انجام شده است (مسکوکی و مرتضوی، 1380). همچنین هیچ گونه خسارت شیمیایی که سبب افت احتمالی ترکیبات شیمیایی آنتوسیانین تمشک قرمز شود در عصاره‌گیری با امواج فراصوت وجود ندارد (چن و همکاران، 2006). علاوه بر آنتوسیانین‌ها، ترکیبات دیگری مثل پلی فنل ها، پلی ساکاریدها، ترکیبات آروماتیک و سایر رنگدانه‌ها را با استفاده از امواج فراصوت در مدت زمانی کوتاه با کارایی بالا می توان استخراج نمود (ویلخو و همکاران، 2007). افزایش ضریب تضعیف امواج فراصوتی عبور کرده از میان بافت هندوانه با میزان رسیدگی آن گزارش شده است (کلارک و شاکلفورد، 1975). می توان از تغییرات سرعت امواج فراصوت در میوه‌ها و سبزی ها، به منظور درجه بندی رسیدگی آن‌ها استفاده نمود (میزارچ و همکاران، 1996). استفاده از امواج فراصوت به عنوان یک روش اقتصادی در افزایش بهره وری و کاهش زمان خشک کردن انگور در تهیه کشمش مؤثر است (مسکوکی و همکاران، 1386). امواج فراسوت در مالت سازی برای افزایش فعالیت میزان آنزیم آلفا آمیلازایجاد شده، افزودن هورمون رشد گیاهی اسید جیبرلیک در مقیاس صنعتی و یا تأثیر اتیلن بر جو مرطوب مؤثراست (کریسوستو، 1996؛ اشمیت و همکاران،). تیمار فراصوت از طریق تولید حباب هایی در داخل مایعات ایجاد نقاط داغ کرده و بدین ترتیب باعث افزایش انتقال گرما و انهدام میکروارگانیسم ها می شود (ایشیموری و همکاران، 1981؛ ساسلیک، 1990). گزارش‌ها مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها خاص توسط امواج فراصوت (کریسوستو، 1996؛ اشمیت و همکاران، 1987؛ بارتون و همکاران، 1996؛ زرنر و همکاران، 1987) باعث گردید تا در این مطالعه اثرات هم افزایی این فناوری جدید با به کارگیری باکتری مورد بررسی قرار گیرد.

کودهای زیستی با استفاده از ظرفیت‌های طبیعی موجودات مفید خاکزی تهیه می‌شوند و تولید آنها علاوه بر صرفه اقتصادی به لحاظ رعایت جنبه‌های زیست محیطی نیز بسیار با ارزش است. بر این مبنا کودهای زیستی عمدتاً شامل باکتری‌های محیط ریشه تثبیت کننده زیستی نیتروژن مولکولی همزیست، آزادزی و همیار، باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات، قارچ‌ها و باکتری‌های حل کننده سیلیکات، باکتری‌های اکسید کننده گوگرد (تیوباسیلوس)، قارچ‌های میکوریزایی و غیره و مواد حاصل از فعالیت آنها می باشند (زهیر و همکاران، 2004). باکتری های محرک رشد به رشد سریع گیاه کمک کرده و ساختار خاک را اصلاح و سبب ریشه زایی بهتر و نگهداری بیشتر آب در خاک می شود که این امر سبب مقاومت گیاه در مقابل بیماری ها و افزایش راندمان آب مصرفی می شود. سودوموناس با تولید آنزیم و ترشحات اسیدی به انحلال و آزاد سازی عناصر تثبیت شده و نامحلول در خاک کمک می کند که این امر سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید می شود. باکتری های جنس ازتوباکتر و سودوموناس آزادزی و باکتری های جنس آزوسپیریلوم دارای رابطه همیاری با گیاه میزبان می باشند (جانسون و همکاران، 2007). واکنش نیتریت حاصل از تنفس نیتراتی با اسید اسکوربیک از مهم ترین سازوکارهای مؤثر این باکتری ها در تولید مواد هورمونی و شبه هورمونی هستند (زهیر و همکاران، 2004)، از این طریق باکتری ها باعث تأثیر در رشد و نمو

[3] Cavitation

گیاهان می‌شوند. در همین راستا مطالعات فراوانی مبنی بر افزایش عملکرد دانه ذرت (توران و همکاران، 2006) و افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آفتابگردان تلقیح شده با باکتری های سودوموناس و ازتوباکتر گزارش شده است (شوکت و همکاران، 2006). از آنجا که عملکرد از نظر کمی و کیفی به میزان و درصد سبز شدن و همچنین یکنواختی آن وابسته است، بنابراین مرحله جوانه زنی گیاه مرحله حساس و مهمی است که می‌تواند با استقرار مطلوب گیاهچه ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید. روش‌های مختلفی از جمله تیمارهای حرارتی، فیزیکی، شیمیایی و در جهت افزایش سرعت و همچنین درصد جوانه زنی بذور مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. از این رو هدف از این تحقیق بررسی تأثیر امواج فراصوت و باکتری‌های محرک رشد بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

واکنش اجزای جوانه‌زنی (سرعت جوانه زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و زمان تا 5، ۱۰،۵۰، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی) و رشد گیاهچه گندم تحت تأثیر امواج فراصوت و نیز تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال 1390 مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل صوت دهی بذور در پنج سطح صفر (شاهد)، 2، 4، 6 و 8 دقیقه، (هیدروپرایم بذور 2 ساعت قبل از صوت دهی و در هر تیمار یک بار) و سه سطح تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه (بعد از صوت دهی و قبل از کاشت به صورت بذر مال) شامل: عدم تلقیح (شاهد)، تلقیح با سویه *ازتوباکتر کروکوکوم* و سویه *سودوموناس فلورسنس* بودند. بذور تیمار فراصوت در معرض امواج فراصوت 42 KHz با دستگاه Digital Ulterasonic مدل CD-4820 قرار گرفتند. در این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر دهانه 20 سانتیمتر، ارتفاع 25 سانتیمتر به ظرفیت 5 کیلوگرم استفاده شد. تعداد کل گلدان‌های آزمایش 60 عدد بود. ابتدا جهت ضد عفونی بذور گندم، بذور به مدت 5 دقیقه در هیپوکلریت سدیم 0/5 درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. باکتری‌های مورد نظر از شرکت فرآورده‌های زیستی زنجان تهیه شدند. در تیمارهایی که بایستی بذور با این ریز جانداران تلقیح می‌شد، پس از ریختن حدود 20 گرم بذر در داخل یک کیسه فریزر (برای هر باکتری به طور مجزا)، مقدار 20 میلی‌لیتر محلول شکر 20 درصد به آن اضافه شد. پس از آغشته کردن کامل سطح بذور با محلول شکر، مایه تلقیح (دارای 10^8 CFU/ml) به بذور چسبناک اضافه گردید و سپس بذور روی ورقه آلومینیومی تمیز سایه خشک شدند. پس از تلقیح 6 عدد بذر برای هر گلدان انتخاب و کشت شد. برای محاسبه سرعت و حداکثر جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی بذرها از برنامه Garmin استفاده شد. این برنامه D_{05}، D_{10}، D_{50}، D_{90} و D_{95} را از طریق درون یابی منحنی افزایش جوانه زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند (سلطانی و مداح، 2010). و بعد از گذشت 10 هفته میزان زیست توده، وزن ریشه، تعداد برگ و ارتفاع گیاه در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز داده‌ها بوسیله نرم افزارهای SAS و MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد و رسم نمودارها بوسیله Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس حداکثر جوانه‌زنی (Gmax[4])، سرعت جوانه‌زنی (R_{50})، یکنواختی جوانه‌زنی (GU[5])، زمان تا 5 (D_{05}) 10 (D_{10})، 50 (D_{50})، 90 (D_{90}) و 95 (D_{95}) درصد جوانه‌زنی گیاه گندم در جدول (1) ارائه شده است. امواج فراصوت تأثیر معنی‌داری بر جوانه زنی و تمام صفات وابسته به آن بجز D_{05} داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد اعمال امواج فراصوت موجب افزایش حداکثر جوانه‌زنی شد (جدول 2). همان طور که مشاهده می‌شود اعمال امواج فراصوت تا 4 دقیقه سبب افزایش 9/5 درصد حداکثر جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد و با افزایش مدت زمان امواج فراصوت تا 6 و 8 دقیقه جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (R_{50}) مشابه حداکثر جوانه‌زنی بوده بطوری که با افزایش مدت امواج فراصوت تا 4 دقیقه افزایش و سپس کاهش یافت. تیمار 2، 4، 6 دقیقه امواج فراصوت سبب افزایش 12/5، 17/6 و 6/7 درصد سرعت جوانه زنی نسبت به شاهد شد. همچنین یکنواختی جوانه‌زنی با افزایش مدت امواج فراصوت افزایش معنی‌داری پیدا کرد. بیشترین مقدار یکنواختی جوانه‌زنی مربوط به 8 دقیقه امواج فراصوت و کمترین مقدار در شاهد حاصل شد. هر چند اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های 2، 4 و 6 دقیقه در یکنواختی جوانه‌زنی مشاهده نشد. زمان تا 10 (D_{10})، 50 (D_{50})، 90 (D_{90}) و 95 (D_{95}) درصد جوانه‌زنی نیز با افزایش مدت زمان امواج فراصوت، ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. مشاهده می‌شود کمترین زمان تا 10، 50،

[4] Maximum Germination
[5] Germination Uniformity

90 و 95 درصد جوانه‌زنی مربوط به 4 دقیقه امواج فراصوت و بیشترین مقدار مربوط به 8 دقیقه می‌باشد. به عبارت دیگر تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت که سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور گندم شده، موجب کاهش شدید زمان تا جوانه‌زنی شده است. در آزمایشی با استفاده از امواج فراصوت با شدت 700 KHz بذرهای تربچه تیمار و گزارش شده که این تیمار باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و همچنین باعث افزایش 13 الی 16 درصدی طول ریشه چه نسبت به شاهد گردیده است (شیمومرا، 1990). در پژوهشی به کاهش 30 الی 45 درصدی در زمان جوانه‌زنی در بذور جو و افزایش درصد جوانه‌زنی را پس از تیمار بذور با امواج فراصوت اشاره شده است (یلداگرد و همکاران، 2008). در تحقیقی دیگر که توسط بینا و همکاران بر روی بذور بادمجان، فلفل و خیار انجام شده است، پس از تیمار بذور با امواج فراصوت 42- 59KHz، نتایج حاکی از برتری بسیار بالای تیمارها نسبت به شاهد بوده است (بینا و همکاران، 1387).

تلقیح باکتری‌های محرک رشد تأثیر معنی‌داری (درسطح یک درصد) بر Gmax، R_{50}، D_{10} و D_{50} داشت (جدول 1). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار حداکثر جوانه‌زنی مربوط به تلقیح باکتری *ازتوباکتر کروکوم* (86/95 درصد) و کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به شاهد می‌باشد (جدول 2). مشاهده می‌شود باکتری *ازتوباکتر کروکوم* و *سودوموناس فلورسنس* توانست 9/7 و 6/7 درصد حداکثر جوانه‌زنی را نسبت به شاهد افزایش دهد. سرعت جوانه زنی با تلقیح باکتری افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جدول 2). مشاهده می‌شود تلقیح باکتری *ازتوباکتر کروکوم* و *سودوموناس فلورسنس* بترتیب سبب افزایش 7/4 و 1/9 درصد سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شده است. همچنین بین باکتری‌های تلقیح شده در زمان تا 10 و 50 درصد جوانه-زنی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هر چند بین تلقیح باکتری *سودوموناس فلورسنس* و عدم تلقیح (شاهد) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین زمان تا 10 و 50 درصد جوانه‌زنی مربوط به باکتری *ازتوباکتر کروکوم* بود. نخستین شواهد در مورد تأثیر افزاینده مواد مترشحه از باکتری‌ها بر جوانه‌زنی بذر را حسین و وانکورا (1970) بدست آوردند. آنها مشاهده کردند که برخی از باکتری‌های محیط اطراف ریشه به طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی بذرها از جمله بذر ذرت را افزایش می‌دهند. تحقیقات حافظ و همکاران (2004) نیز ظهور سریعتر گیاهچه‌های ارقام پنبه بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از جمله ازتوباکتر را گزارش کردند و ترشح اسید ایندول 3-استیک این باکتری را در بروز این پاسخ مؤثر دانستند.

اثر متقابل مدت زمان امواج فراصوت و باکتری محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر حداکثر جوانه‌زنی گیاه گندم داشت (جدول 1). در شکل 1 مشاهده می‌شود با افزایش مدت امواج فراصوت درصد جوانه‌زنی در شرایط تلقیح و عدم تلقیح افزایش می‌یابد. اما با تلقیح باکتری-های محرک این افزایش، بیشتر و معنی‌دار می‌باشد. تلقیح باکتری‌های محرک رشد در همه سطوح امواج فراصوت، درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به عدم تلقیح باکتری داشت. همچنین به وضوح برتری باکتری *ازتوباکتر کروکوم* در سطوح مختلف امواج فراصوت مشاهده شد. کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد (72/75) و بیشترین مقدار مربوط به تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت و تلقیح باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* (92/37 درصد) بود. سرخی الله لو (1388) طی تحقیقی بر جوانه‌زنی بذور گیاه همیشه بهار دریافت که تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد می‌شود. کاپالنیک و همکاران (1982) افزایش وزن تر و خشک برگ‌های ذرت که بذرهای آن با باکتری آزوسپیریلوم تلقیح شده بودند، روهیتاشاو-سینگ و همکاران (1993) و هرناندز و همکاران (1995) افزایش تعداد برگ‌های بوته ذرت تلقیح شده با باکتری *سودوموناس فلورسنس* را مشاهده نمودند. همچنین اثر متقابل امواج فراصوت و باکتری‌های محرک رشد بر سرعت جوانه‌زنی گیاه گندم معنی‌دار بود (جدول 1). در شکل 2 مشاهده می‌شود تلقیح باکتری موجب افزایش غیر معنی‌دار سرعت جوانه زنی نسبت به عدم تلقیح شد. همچنین در همه سطوح باکتری، با افزایش مدت زمان امواج فراصوت ابتدا سرعت جوانه‌زنی افزایش سپس کاهش معنی‌داری پیدا کرد.کمترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد (0/0135 تعداد در ساعت) و بیشترین سرعت مربوط به تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت و تلقیح باکتری *ازتوباکتر کروکوم* (0/0177 تعداد در ساعت) بود. در آزمایشی با امواج فراصوت به شدت 700KHz بذر تربچه را تیمار کردند که باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و افزایش 13 الی 16 درصدی طول ریشه چه نسبت به شاهد گردید، (شیمومورا، 1990). سرخی الله لو (1388) طی تحقیقی بر جوانه‌زنی بذور گیاه همیشه بهار گزارش کرد که تیمار بذور تا 4 دقیقه امواج فراصوت سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شده و تیمار 6 و 8 دقیقه امواج فراصوت موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. زهیر و همکاران (1998) افزایش 8/5 درصدی ارتفاع

بوته ذرت که بذرهای آن با باکتری های ازتوباکتر و *سودوموناس فلورسنس* تلقیح شده بودند را گزارش کردند. همچنین روستا و همکاران (1377) افزایش ارتفاع بوته ذرت دورگ 704 که بذرهای آن با باکتری‌های جنس آزوسپیریلوم تلقیح شده بود را مشاهده کردند. ناندا و همکاران (1995) گزارش نمودند که تلقیح بذرهای ذرت با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم سبب افزایش عملکرد علوفه گردید.

نتایج تجزیه واریانس وزن زیست توده، وزن ریشه، تعداد برگ و ارتفاع بوته در جدول 3 ارائه شده است. مشاهده می‌شود که امواج فراصوت بر صفات وزن زیست توده و ریشه تأثیر معنی‌داری داشته است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین زیست توده گندم مربوط به 4 دقیقه امواج فراصوت (6/95 گرم) بود، و اعمال مدت زمان 2، 4، 6 و 8 دقیقه امواج فراصوت بترتیب سبب افزایش 22/2، 29، 23/2 و 22/7 درصد زیست توده نسبت به شاهد شد (جدول 4). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین وزن ریشه گندم متعلق به تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت (0/86 گرم) بود، هرچند که اختلاف معنی‌داری با تیمار 6 و 8 دقیقه نداشت. تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت سبب افزایش 17/4 درصد وزن ریشه نسبت به شاهد شد. طی تحقیقی یلداگرد و همکاران (2008) دریافتند که تیمار فراصوت باعث افزایش 13 الی 16 درصدی طول ریشه چه نسبت به شاهد گریده است. همچنین سرخی لله لو (1388) طی بررسی بر جوانه‌زنی بذور گیاه همیشه بهار نتیجه‌گیری دریافت که تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت سبب افزایش طول ریشه چه، ساقه چه و وزن خشک گیاهچه نسبت شاهد می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تلقیح باکتری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم دارد (جدول 3). در جدول 4 مشاهده می‌شود که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به باکتری *سودوموناس فلورسنس* و کمترین مقدار مربوط به شاهد می‌باشد. باکتری *سودوموناس فلورسنس* ارتفاع بوته را نسبت به شاهد 20/8 درصد افزایش داد، اما بین تلقیح باکتری‌های سودوموناس و *ازتوباکتر کروکوکوم* اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هر چند باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس سبب افزایش غیر معنی‌دار زیست توده، وزن ریشه و تعداد برگ نسبت به شاهد شد.

اثر متقابل امواج فراصوت و باکتری‌های محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر زیست توده گیاه گندم داشت (جدول 3). در شکل 3 مقایسه اثر متقابل تلقیح باکتری-های محرک رشد و امواج فراصوت بر زیست توده اندام هوایی ارائه شده است. مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان امواج فراصوت در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح باکتری زیست توده افزایش یافت. هر چند که این افزایش تا تیمار 4 دقیقه امواج فراصوت بالا بوده و با افزایش این مدت زمان تا 6 و 8 دقیقه زیست توده کاهش معنی‌داری پیدا کرد. باید توجه کرد که تلقیح باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط عدم صوت دهی باعث افزایش معنی‌دار زیست توده شد. در بیشتر مطالعات انجام شده تأثیر مثبت امواج فراصوت بر سیستم های زنده بؤیژه بر جوانه‌زنی و در رشد گیاهچه‌ها تأیید شده است (فرهودی، 2007، کورداس، 2002، بینا، 1387، شرفی و همکاران، 2006). بذر تربچه تیمار شده با امواج فراصوت افزایش سرعت جوانه زنی و همچنین افزایش 13 الی 16 درصدی طول ریشه چه را نسبت به شاهد نشان داد (شیمومورا، 1990). همچنین هرناندز و همکاران (1995) مشاهده کردند که تلقیح بذرهای ذرت با باکتری *سودوموناس فلورسنس* موجب افزایش عملکرد علوفه شده و کابوت و همکاران (1993) افزایش 33 درصدی وزن تر بوته ذرت در اثر تلقیح بذر با این باکتری را گزارش کردند. حافظ و همکاران (2004) نیز ظهور سریعتر گیاهچه‌های ارقام پنبه در اثر تلقیح با PGPR از جمله ازتوباکتر را گزارش کردند و ترشح اسید ایندول 3-استیک این باکتری را در بروز این پاسخ مؤثر دانستند.

به‌طورکلی، با توجه به نتایج این آزمایش می توان بیان داشت که اعمال تیمار فراصوت به بذور گندم علاوه بر افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، موجب کاهش زمان تا جوانه‌زنی بذور شده که به استقرار سریع و استفاده از منابع خاکی این گیاه کمک می‌نماید. از طرفی تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد باعث بهبود رشد و استقرار گندم می‌گردد. تأثیر مثبت چنین تغییراتی در جهت بهبود رشد و نمو از اعمال امواج فراصوت به عنوان یک روش فیزیکی و غیر مخرب و از طرفی مصرف باکتری‌های محرک رشد به عنوان کودهای زیستی از طرفی دیگر، می‌تواند در خود کفایی گیاه و خود پایداری سیستم در راستای توسعه تولید گندم در سیستم کشاورزی پایدار نقش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

جدول 1- نتایج جدول تجزیه واریانس برای حداکثر جوانه زنی (Gmax)، سرعت جوانه‌زنی (معکوس زمان تا 50 درصد جوانه زنی، R50=1/D50)، یکنواختی جوانه‌زنی (GU)، زمان تا 10 درصد جوانه‌زنی (D10)، زمان تا 50 درصد جوانه‌زنی (D50)، زمان تا 90 درصد جوانه‌زنی (D90) در گیاه گندم

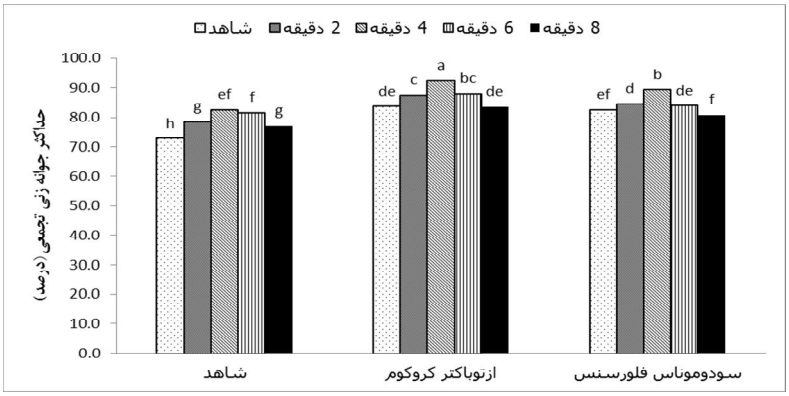
منابع تغییر	Gmax	R50	GU	D05	D10	D50	D90	D95
بلوک	6/32	0/000001	207/25	1/34	1/31	42/76	190/61	157/01
امواج آلتراسونیک (A)	136/71**	0/000015**	755/94**	3/07n.s	8/51**	256/46**	772/30**	472/87**
باکتری (B)	375/74**	0/000008**	197/85n,s	4/34n,s	9/01**	132/89**	193/37n.s	134/02n.s
A*B	8/85**	0/0000009**	163/95n.s	2/69n.s	3/40n.s	29/94n.s	187/03n.s	157/42n.s
خطا	1/56	0/0000002	87/22	1/72	1/66	20/39	87/91	77/15
ضریب تغییرات	1/50	3/24	9/42	4/75	4/12	7/11	7/20	6/31

** معنی‌دار در سطح احتمال 1درصد؛ ns غیر معنی‌دار

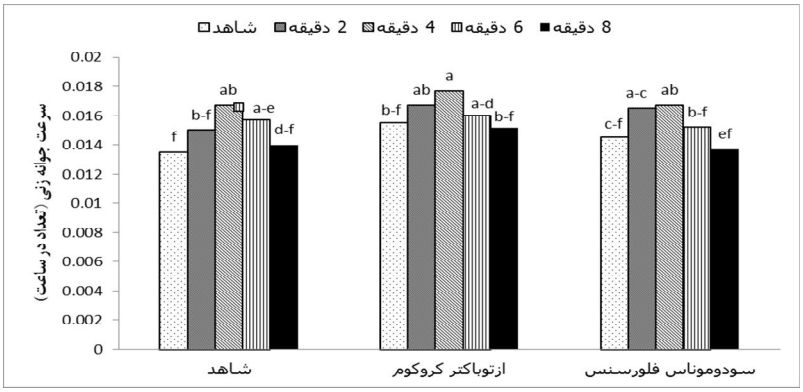
جدو ل 2- مقایسه میانگین های صفات حداکثر جوانه‌زنی (Gmax)، سرعت جوانه‌زنی (معکوس زمان تا 50 درصد جوانه‌زنی، R50=1/D50)، یکنواختی جوانه‌زنی (GU)، زمان تا 10 درصد جوانه‌زنی (D10)، زمان تا 50 درصد جوانه‌زنی (D50) و زمان تا 90 درصد جوانه‌زنی (D90) در گیاه گندم

صفت تیمار	Gmax (درصد)	R50 (بذر در ساعت)	GU (ساعت)	D05 (ساعت)	D10 (ساعت)	D50 (ساعت)	D90 (ساعت)	D95 (ساعت)
امواج آلتراسونیک								
شاهد	79/60c	0/014d	92/45c	27/57	32/30a	65/43b	124/62bc	135/74b
2 دقیقه	83/45b	0/016b	96/52bc	27/68	31/05bc	61/60c	127/62bc	137/56b
4 دقیقه	88/03a	0/017a	93/62bc	27/15	30/33c	57/82d	123/68c	132/86b
6 دقیقه	84/42b	0/015c	101/03b	27/37	30/69c	62/17bc	131/73b	139/77b
8 دقیقه	80/41c	0/014d	112/04a	28/48	31/99ab	70/14a	143/42a	145/33a
LSD	1/02	0/0004	7/69	1/08	1/06	3/72	7/72	7/23
باکتری ها								
شاهد	78/45c	0/0150c	98/35	27/71	31/68a	65/77a	130/10	138/74
ازتوباکتر کروکوم	86/95a	0/0162a	96/45	27/16	30/50b	60/67b	127/17	136/63
سودوموناس فلورسنس	84/15b	0/0153b	102/59	28/09	31/65a	63/87a	133/38	141/78
LSD	0/79	0/003	5/96	0/83	0/82	2/88	5/98	5/60

* وجود حرف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح 5درصد



شکل 1- اثر متقابل سطوح امواج فراصوت و باکتری محرک رشد بر حداکثر جوانه‌زنی گیاه گندم



شکل 2- اثر متقابل سطوح امواج فراصوت و باکتری محرک رشد بر سرعت جوانه‌زنی گیاه گندم

جدول 3- میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در گیاه گندم تحت تأثیر امواج آلتراسونیک و باکتری‌های محرک رشد

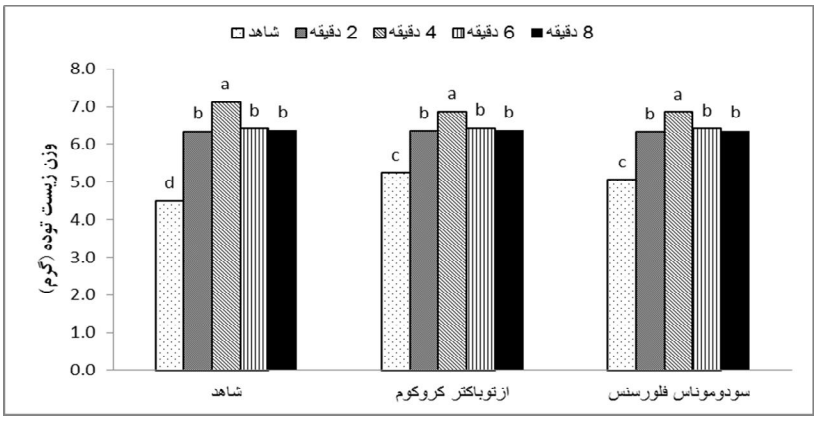
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن زیست توده	وزن ریشه	تعداد برگ	ارتفاع بوته
بلوک	3	0/27	0/0007	0/35	36/03
امواج آلتراسونیک (A)	4	6/83**	0/038**	0/10n.s	19/94n.s
باکتری (B)	2	0/05n.s	0/004n.s	0/01n.s	276/95**
A*B	8	0/15*	0/086n.s	0/05n.s	52/22n.s
خطا	42	0/06	0/005	0/11	33/03
ضریب تغییرات(%)		3/96	9/36	5/84	18/82

*، ** و ns. به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال 1درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

جدول 4- مقایسه میانگین تأثیر امواج آلتراسونیک و باکتری‌های محرک رشد بر رشد گیاه گندم

صفت تیمار	وزن زیست توده (گرم)	وزن ریشه (گرم)	تعداد برگ	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
امواج آلتراسونیک				
شاهد	4/93c	0/71c	5/83	31/41
2 دقیقه	6/34b	0/75bc	5/83	28/44
4 دقیقه	6/95a	0/86a	5/75	31/70
6 دقیقه	6/42b	0/80ab	5/91	30/83
8 دقیقه	6/38b	0/80ab	6/00	30/29
LSD	0/20	0/06	0/28	4/73
باکتری‌ها				
شاهد	6/15	0/77	5/85	26/28b
ازتوباکتر کروکوم	6/25	0/80	5/85	32/12a
سودوموناس فلورسنس	6/21	0/79	5/90	33/20a
LSD	0/15	0/04	0/21	3/66

* وجود حرف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح 5درصد



شکل 3- اثر متقابل سطوح امواج فراصوت و باکتری محرک رشد بر زیست توده اندام هوایی گیاه گندم

فهرست منابع:

1. بینا، ف.، رضایی، آ. و آقایی‌زاده، م. 1387. بررسی تأثیر امواج مافوق صوت بر فرآیند فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تنیدن بذر. اولین همایش ملی زیست‌شناسی گیاهی.
2. ذکی، دیزجی، ح.، مینایی،س.، توکلی هشتجین، ت.، مختاری دیزجی، م. و منتظر، ع. 1387. کیفیت سنج فراصوتی برای محصولات کشاورزی، مجموعه مقالات پنجمین کنگره مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران.
3. سرخی لله لو، ف. 1388. ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذور گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula ifficinalis* L.). ششمین کنگره علوم باغبانی ایران- 22 تا 25 تیرماه 1388، دانشگاه گیلان. 1165-1161.
4. مسکوکی، ع. م. مرتضوی، ع. و مسکوکی، آ. 1386. بررسی توأم فراصوت و قلیا در کاهش زمان خشک کردن انگور و تولید کشمش. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی. ایران. بهار 1386.
5. مسکوکی، ع. م. و مرتضوی، ع. 1380. طرح جامع استراتژیک تولید ، تبدیل و توزیع زرشکبی دانه ، وزارت صنایع، معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد.
6. روستا، م.ج، صالح راستین، ن. و مظاهری اسدی، م. 1377. بررسی و فعالیت آزوسپیریلوم لیپوفروم در برخی از خاک های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. 29: 298-285.
7. Barton, S., Bullock, C. and Weir, D. 1996. The effects of ultrasound on the activities of som glycosidase enzymes of industrial importance, Enzyme and Microbiology Technology. 18:190-194.
8. Chabot, R., Antoun, H. and Cescas, M.P. 1993. Stimulation of the growth of maize and lettuce by inorganic phosphorus solubilizing micro-organisms. Canadian Journal of Microbiology, 39: 941-947.
9. Chen , F., Sun , Y., Zhao , G., Liao , X., Hu , X., Wu, J. and Wang, Z. 2006. Optimization of ultrasound – assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using HPLC–MS, Ultrasonics Sonochemistry. 14: 767 – 778.
10. Chisti, Y. 2002. Sonobioreactores: Using ultrasound for enhanced microbial productivity. Trends in biotechnology. 21 (3): 89-93.

11. Clark, R. L. and Shackelford, P. S. 1975. Methods for Testing the Dynamic Mechanical Response of Solid Foods. Transactions of the ASAE. 16 (6): 1140.
12. Crisosto, C. 1996. Optimum procedures for ripening stone fruit. Management of Ripening Fruit (Univ. of California, Davis). Postharvest Horticulture Series, 9: 28-30.
13. Czerner, R., Millner, R., Roenfeld, E., Schellenberger, A. and Schmidt, P. 1987. Theoritical and experimental studies on the influence of ultrasound on immobilized enzymes. Biotechnology Bioengineer. 30: 928-935.
14. Farhudi, R. 2007. The effect of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus*) seedlings grown under saline conditions. Seed Science and Technology. 35: 754-759.
15. Hafeez, F.Y., Safdar, M.E., Chaudry, A.U. and Malik, K.A. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. Australian Journal of Experimental Agriculture. 44:617-622.
16. Hernandez, A.N., Hernandez, A. and Heydrich, M. 1995. Selection of rhizobaceria for use in maize cultivation. Cultivos Tropicales, 6: 5-8.
17. Hussain, A. and Vancura, V. 1970. Formation of biologically active substances by rhizosphere bacteria and their effect on plant growth. Folia Microbiology, 15: 468-478.
18. Ishimori,Y., Karube, I. and Suzuki, S. 1981.Acceleration of immobilized alpha-chymotrypsin activity with ultrasonic irradiation. Journal Mol Catal. 12:253-259.
19. Johnson, F. Karlen L., Wilhelm, J.M. and David, T. 2007. Corn stover to sustain soil organic carbon further constrains biomass supply. Agronomy Journal. 99: 1665-1667.
20. Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, A., Okon, Y. and Henis, Y. 1982. The effect of Azospirillum inoculation on growth and yield of corn. Israel Journal of Botany. 31: 247-255.
21. Kordas, L. 2002. The effect of magnetic field on growth , development and the yield of spring wheat.Poblish Journal of Enviromental Studies.11:527-530.
22. Mason T. J. 2002. Trends in food science and technology. Ultrasonic Sonochemist. 13: 48 – 99.
23. Mason T.J, Daniwnyk, L.J, Lorimer, J.P. 1996. The uses of ultrasound in food technology. Ultrasonic Sonochemist. 3:5253-5260.
24. Mason, T.J, Lorimer, J.P. 2002. Applied Sonochemistry. The use of power ultrasound in chemistry and processing .First ed. New York: Oxford University Press Inc., pp.
25. Mizrach, A., N. Galili, S. Ganmor, U. Flitsanov and I. Prigozin. 1996. Models of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life. Journal of Agricultural Engineering Research. 65: 261–267.
26. Nanda, S.S., Swain, K.C., Panda, S.C., Mohanty, A.K. and Alim, M.A. 1995. Effect of nitrogen and biofertilizers in fodder rainfed upland conditions of Orisa. Current Agricultural Research. 8: 45-47..
27. Povey, M. J. W. and J. M. Wilkinson. 1980. Application of ultrasonic pulse-echo techniques to eggalbumin quality testing a preliminary report. British Poultry Science. 21, 489–495.
28. Rohitashav-Singh Sood, B.K., Sharma, V.K. and Singh, R. 1993. Response of forage maize to Azotobacter inoculation and nitrogen. Indian Journal of Agronomy. 38: 555-558.
29. Schmidt, P., E. Rosenfeld, R. Millner, and Schellenberger, A. 1987. Effects of ultrasound on the catalytic activity of matrix-bound glucoamylase, Ultrasonics. 25: 295-299.
30. Sharafi.S., Gholipoor.M., Ghassemi.S. and Sharafi.A. 2006. Effect of magnetic field on seed germination of two wheat cultivars. African Journal(publishing).
31. Shimomura, S.1990. The effects of ultrasonic irradiation on sprouting radish seed. Ultrasonic Symposium Proceedings. 3:1665-1667.
32. Shaukat, K., Affrasayab, S. and Hasnain, S. 2006. Growth responses of *Helianthus annus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer., Journal of Agriculture Research. 1(6):573-581.

33. Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple applied programs for education and research in agronomy. ISSA Press, Iran, 80p. (In Persian).
34. Suslick. K.S. 1990. Sonochemistry Science. 247:1439-1445.
35. Turan, M., Ataoglu, N. and Sahin, F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Sustainable Agriculture. 28: 99-108.
36. Vilkhu, K., Mawson,R., Simons, L. and Bates, D. 2007. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - A review. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9: 161–169.
37. Yaldagard, M., Mortazavi, S.A. and Tabatabaie, T. 2008. Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barely seed: optimization of method by the Taguchi approach .The Institute of Brewing & Distilling.
38. Zahir, A.Z., Arshad, M. and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advance Agronomy. 81:97-168.
39. Zahir, A.Z., Arshad, M. and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science, 15: 7-11.